

## SBR에서 선택적 질산화 및 그레놀화 특성 연구

서덕원, 김선희, 김동진\*  
 한림대학교 환경시스템공학과  
 (dongjin@hallym.ac.kr\*)

## A study on selective nitrification and granulation in sequencing batch reactor (SBR)

Dougwon Seo, Sunhee Kim, Dongjin Kim\*  
 Department of Environmental System Engineering Hallym University  
 (dongjin@hallym.ac.kr\*)

## 서론

본 연구는 암모니아 산화균을 그레놀 형태로 배양하는데 그 목적이 있다. 그레놀 형태로 미생물을 배양하면 고농도의 미생물을 잔류시킴으로써 폐수 처리의 효율 및 독성물질에 대한 저항을 크게 할 수 있을 뿐만 아니라 미생물 그레놀 강도, 침강성 및 암모니아성 질소 제거속도가 우수한 장점을 가지고 있다. 또한 아질산성 질소를 질산성질소로 산화시키는 Nitrification과정을 생략한 선택적 질산화를 통해 암모니아 산화균을 우점종으로 하는 그레놀을 배양하고 질산화 단계 중 폭기에 필요한 산소의 약 25%를 줄일 수 있으며 탈질 단계에서 요구되는 전자공여체의 약 40%를 절감할 수 있다. SBR의 운영조건중 그레놀에 가장 적합한 유입수의 농도와 침전시간을 연구하였다. Nitrification과정이 끝나는 시점을 한 사이클로 하여 free ammonia농도를 1.7 mg/L 이상을 유지함으로써 암모니아 산화균을 선택적으로 배양하였고 질산화 미생물의 군집구조 분석 및 정량화를 위하여 분자 생물학 방법인 fluorescence in situ hybridization (FISH)를 통해 분석하였다.

## 본론

수계에 유입된 질소는 부영양화를 일으켜 수생 생태계를 파괴할 뿐 아니라 그 자체로도 독성을 가지기 때문에 반드시 처리되어 방류되어야 한다. 질소는 호기적 상태에서의 질산화와 혐기적 상태에서의 탈질화를 거쳐 처리되는데 성장 속도가 느리고 산소에 대한 친화도가 낮은 독립 영양 미생물에 이루어지는 질산화는 이러한 질소의 처리에 병목현상으로 작용하는 것으로 알려져 있다. 질산화시 아질산 산화균을 선택적으로 저해함으로써 아질산성 질소까지만 산화 시키면 여러 가지 장점을 가지게 된다. 아질산 산화균은 암모니아 산화균에 비해 free ammonia의 저해에 민감하기 때문에 이를 통해 아질산 산화균 만을 선택적으로 저해할 수 있다. 일반적으로 free ammonia는 10~150 mg/L에서는 암모니아 산화균을, 0.1~1 mg/L에서는 아질산 산화균을 저해한다고 보고되었다.<sup>1)</sup>

SBR은 미생물의 그레놀형성 조건에 잇점이 있는 것으로 보고되고 있으며 고농도로 암모니아성 질소를 유지하는 것과 짧은 침전시간이 그레놀 형성에 유리한 것으로 보고하고 있다. 짧은 침전시간은 부유미생물의 선택적 분류를 통해 그레놀 형성에 유리하며, 15분 이하로 침전시간을 유지할 때 그레놀이 성공적으로 형성되는 결과를 나타냈다.<sup>2)</sup>

미생물 분포와 활성에 관한 특성 연구는 분자 생물학 방법의 적용으로 가능하게 되었으며 특히 질소제거에 관여하는 미생물의 동정 및 구조 분석 등이 가능하게 되었다. 대표적으로 rRNA oligonucleotide probe을 이용한 fluorescence in situ hybridization (FISH)은 자연 환경 및 폐수 처리장에 존재하는 미생물 군집구조 분석 및 정량화, 그리고 미생물 동정 및 분포를 이해하는데 배양에 따른 오차 없이 빠르고 믿을만한 정보를 제공하여 주었다. 특히 FISH 결과를 cofocal laser scanning microscope(CLSM)를 사용하여 관찰함으로써 미생물의 특성을 공간적으로 분석할 수 있게 되었다.

### 실험방법

본 연구에서는 그래놀형성에 유리한 SBR을 이용하여 암모니아 산화균을 배양하였다. 반응기의 재질은 아크릴소재의 원형으로 유효 부피는 3L이고 air pump를 이용하여 순환 및 폭기 시켰으며 실온에서 실험을 하였다. 또한 PLC를 이용하여 유입시간, 포기시간, 침전시간, 유출시간을 제어하였다.

유입수의 성상은 유기물을 배제한 200 mg/L에서 1500 mg/L의 암모니아성 질소를 단계별로 늘려 주었고 암모니아성 질소의 농도에 따른 그래놀 형성 특성을 조사하였다. 그래놀의 형태는 SEM으로 측정하였으며, 크기는 이미지 분석프로그램을 사용하여 측정하였다.

완전 질산화와 선택적 질산화 미생물의 군집구조를 비교분석하기 위해 초기 50일까지 완전 질산화를 시키고, 50일 이후에는 선택적 질산화 조건으로 운전하여 두 구간의 종점에서 미생물을 채취하여 FISH로 미생물 군집구조 분석한 후 이미지 분석프로그램을 사용하여 정량화 하였다.

폐수 분석은 Standard Method 에 따라 실시하였으며,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 는  $0.45\mu\text{m}$ 의 GF/C filter로 여과한 후 Nesslerization 방법 (425nm, UV-1601, Shimadzu, Japan)으로 분석하였고,  $\text{NO}_2\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 은  $0.2\mu\text{m}$ 의 syringe filter 로 부유물을 제거한후 이온크로마토그래프 (DX-50, Dionex, U.S.A.)로 분석하였다.

### 결론 및 토론

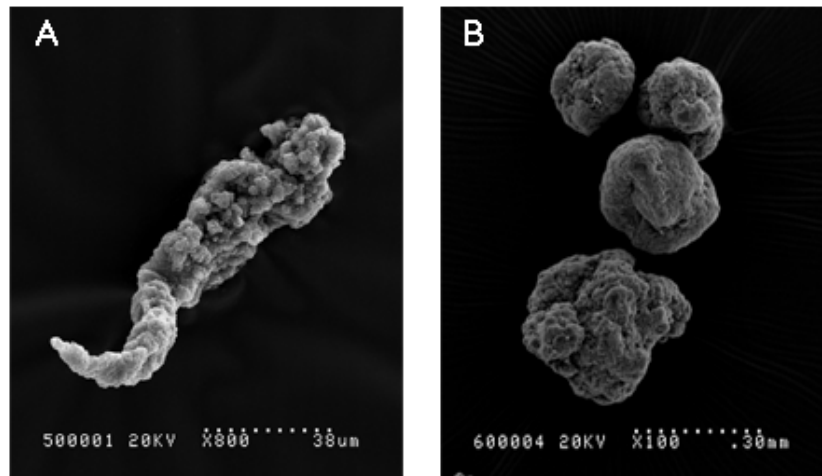


그림 1. (A)유입수 암모니아 농도 200 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$  (B)유입수 암모니아 농도 1500 mg/L  $\text{NH}_4\text{-N}$

그림 1. 은 유입수의 암모니아성 질소의 농도가 그래놀 형성에 미치는 영향을 알아보기 위해 200 mg-N/L와 1500 mg-N/L에서 미생물을 SEM으로 분석한 결과이다. (A)에서는 50 ~ 80 $\mu\text{m}$ 로 크기로 미생물의 형태가 불규칙하게 유지되던 것이 (B)에서는 150 ~ 300 $\mu\text{m}$ 의 크기로 미생물의 형태도 점차 구형화 되어가는 것을 볼 수 있다.

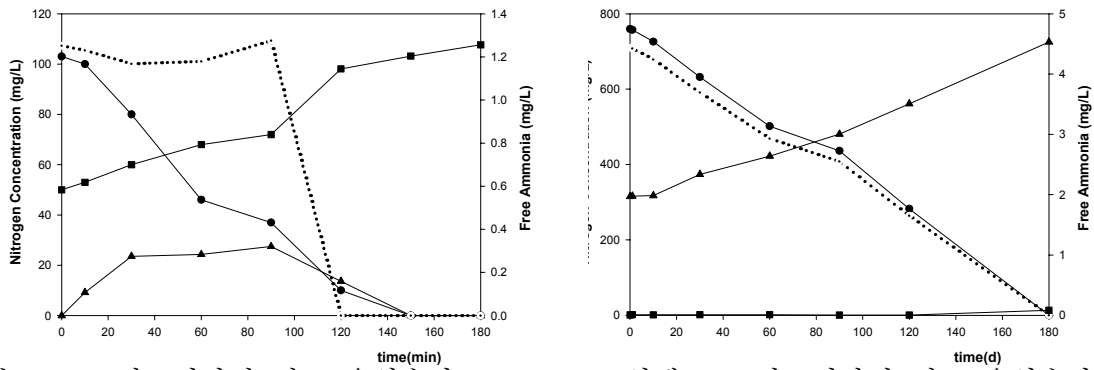


그림 2. (A) 암모니아성 질소 유입수가 200 mg-N/L 일때, (B) 암모니아성 질소 유입수가 1500 mg-N/L 일때의 수질분석 결과 및 free ammonia 농도 ( ● NH<sub>4</sub>-N, ▲ NO<sub>2</sub>-N, ■ NO<sub>3</sub>-N, ---- free ammonia (mg/L) )

그림 2. (A),(B)에서 암모니아성 질소의 농도가 1/2로 분석된 이유는 유입수를 넣었을 때 반응기에 잔류하는 암모니아성 질소가 제거된 폐수와 1/2로 혼합되었기 때문이다. (A)에서 반응 초기부터 암모니아성 질소와 아질산성 질소가 동시에 산화되고 있음을 볼 수 있지만 (B)에서 120분까지는 암모니아성 질소의 산화만이 관찰되며, 120분 이후에 아질산성 질소가 질산성 질소로 산화되는 것을 볼 수 있다. 두 실험결과 아질산성 산화균이 (A)에서는 큰 저해없이 활성을 가지고 있었지만, (B)에서 120분까지 활성이 저해받는 것으로 나타났다. 용존산소의 농도는 4 mg/L 이상으로 유지되었고 이때 free ammonia 농도를 계산하여 본 결과 (A)와 (B)에서 차이를 나타내고 있음을 볼 수 있었다. (B)에서 아질산성 산화균의 활성을 보이는 120분에서 free ammonia 농도를 계산한 결과 1.7 mg/L 를 타나냈으며, 이 농도이상에서 아질산성 산화균이 저해받는 결과를 밝히고, free ammonia 농도를 1.7 mg/L 이상으로 유지하여 암모니아 산화균을 우점종으로 하는 그레놀을 배양하였다.

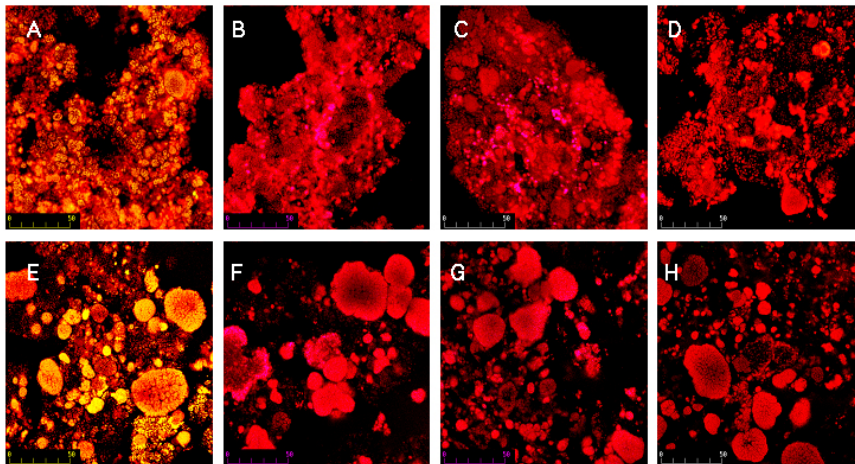


그림 3. FISH를 이용한 완전질산화[A~D]와 선택적 질산화[E~H]의 미생물 군집분포  
 [A,E] EUBMIX(Cy3) + Nsm156(FITC), [B,F] EUBMIX(Cy3) + Nsv443(Cy5)  
 [C,G] EUBMIX(Cy3) + Nit3(Cy5), [D,H] EUBMIX(Cy3) + Ntspa662(FITC). Bar = 50 μm.

그림 3.의 [A~D]는 완전질산화 50일 수행 후에 FISH사진이며, [E~H]는 선택적 질산화를 50일 수행한 후의 사진이다. 암모니아 산화균과 아질산성 산화균의 미생물의 군집구조를 분석하

기 위해 암모니아 산화균으로 *Nitrosomonas* spp.와 *Nitrospira* spp., 아질산성 산화균으로 *Nitrobacter* spp.와 genus *Nitrospira*에 특이적으로 결합하는 probe를 이용하여, 암모니아 산화균과 아질산성 산화균의 분포와 이 두 종의 분포 비를 알아 보았다. 완전 질산화과정이 끝난 후 선택적 질산화로 50일 운전후 결과를 보면 *Nitrosomonas* spp.와 *Nitrospira* spp.로 대표되는 암모니아 산화균이 슬러지 전역에 걸쳐 증가하였음을 볼 수 있다. 또한 선택적 질산화 초기에 *Nitrosomonas* spp.는 *Nitrospira* spp.에 비해 비교적 많은 수로 존재하는 것으로 나타났으며, 50일 이후 결과에서는 더 뚜렷한 결과를 보였다. 아질산성 산화균으로 *Nitrobacter* spp.와 genus *Nitrospira*는 선택적 질산화 초기에 비해 50일 운전 후에는 뚜렷하게 감소되었음을 알 수 있었고, genus *Nitrospira*는 검출되지 않은 결과를 나타냈다.(표 1)

표 1. FISH이미지를 이미지분석 프로그램을 통하여 얻은 정량화 데이터

	<i>Nitrosomonas</i> spp.*	<i>Nitrospira</i> spp.*	<i>Nitrobacter</i> spp.*	genus <i>Nitrospira</i> *
완전질산화	26.15%	5.07%	4.36%	0.21%
선택적질산화	33.53%	5.40%	0.49%	N.D.T

(\* 모든 박테리아(EUBMIX)에 대한 해당 미생물군의 백분율  
N.D.T = Not detected )

## 결론

SBR에서 암모니아 산화균을 선택적으로 배양하기 위해서는 free ammonia를 1.7 mg/L 이상으로 지속적으로 유지하는 것이 중요하며 그레놀로 미생물을 배양하기 위해서는 고농도로 암모니아성 질소를 유지하는 것이 유리한 것으로 나타났다. 그리고 선택적 질산화를 지속적으로 유지했을 때 아질산 산화균은 반응기에서 저해되어 그 생물량이 크게 줄어드는 것이 FISH 분석결과 나타났으며 이러한 지속적인 선택적 질산화를 통하여 암모니아 산화균을 우점으로하는 그레놀 형태의 질산화 미생물 군집을 얻을 수 있었다.

## 참고문헌

1. Anthonisen, A.C., R.C., Prakasam, and T.B.S., Srinath, E.G., " Inhibition of nitrification by ammonia and nitric acid" , J. WPCF., 48: 835-852, 1976
2. Lei Qin, Joo-Hwa Tay, Yu Liu., " Selection pressure is a driving force of aerobic granulation in sequencing batch reactors" Process biochemistry., 39: 579-584, 2004